

전자종이 (e-paper) 기술 동향

김미선 · 이상수 · 김준경

1. 서론

휴대폰과 디지털 카메라, 그리고 PDA 등이 하나로 통합되는 휴대형 통합 정보 기기가 시장에 나오고 있는 현 시점에서 손쉽게 휴대할 수 있는 flexible display에 대한 관심의 증대는 당연한 시대의 반영이며, 이에 따라 flexible display 기술개발에 대한 경쟁은 날로 치열해지고 있다. Flexible display의 구현 방식은 크게 기존 디스플레이에서 TFT LCD와 OLED (유기발광다이오드)의 재질을 유연성있게 하는 방법과 전자종이 (electronic paper, e-paper, digital paper) 방식 등 2 가지로 나누어 볼 수 있다. **그림 1**에는 지금까지 발표된 바 있는 다양한 종류의 flexible display의 예를 나타내었다.

지금까지 정보처리 장비들은 정보저장 기능은 자기기록 방식의 디스크 등이, 정보표시 기능은 CRT

나 LCD 패널 등이 나눠 담당하고 있는데, 기존의 하드디스크나 디스플레이는 크기나 무게로 인해 휴대가 전제되는 경우로의 적용에는 넘기 힘든 일정한 한계가 있다. 반면 수천 년간 활용돼 온 종이는 정보저장 기능과 정보표시 기능을 동시에 지닌 특성과 함께 휴대의 편리성 등으로 인해 인류의 사랑을 받아왔다.



김준경

1976 ~ 서울대학교 섬유공학과 (공학사)
 1980
 1980 ~ 서울대학교 섬유공학과 (공학석사)
 1982
 1985 ~ Michigan Univ., 고분자전공 (공학박사)
 1990
 1990 ~ Michigan Univ., Material Science & Engineering Research Fellow
 1991
 1991 한국과학기술연구원 책임연구원
 2004 ~ 한국과학기술연구원 재료연구부 부장
 현재



김미선

1995 ~ 동덕여자대학교 응용화학과 (공학사)
 1999
 1999 ~ 성균관대학교 섬유공학과 (공학석사)
 2001
 2001 ~ 성균관대학교 유기전자소재공학과 (박사과정)
 현재



이상수

1986 ~ 서울대학교 공과대학 공업화학과 (공학사)
 1990
 1990 ~ 서울대학교 공과대학 공업화학과 (공학석사)
 1992
 1992 ~ 서울대학교 공과대학 공업화학과 (공학박사)
 1995
 1995 ~ Michigan Univ., Material Science & Engineering Research Fellow
 1997
 1997 ~ 한국과학기술연구원 고분자하이브리드연구센터 선임연구원
 현재

Technological Trend of Electronic Paper

성균관대학교 고분자공학과 (Mi Sun Kim, Department of Polymer Science and Engineering, Sung Kyun Kwan University, 300 Chunchun-dong, Jangan-gu, Suwon, Kynggi-do 440-746, Korea)
 한국과학기술연구원 고분자하이브리드연구센터 (Junkyung Kim and Sang-Soo Lee, Polymer Hybrid Research Center, Korea Institute of Science and Technology(KIST), P.O. Box 131, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea) e-mail: s-slee@kist.re.kr

종류	시제품			
Flexible TFT-LCD				
제작사	Philips Res. Lab. (네덜란드)	Kodak (일본)		Philips (영국)
성능	5.8" 무기 EL BLU. Color STN 100×RGB×65	콜레스테릭 액정 타입		Fleible LCD With OTFT
Flexible OLED				
제작사	UDC(미국)	DuPont (미국)	Pioneer (일본)	Pioneer (일본)
성능	2" Mono PM-OLED 64×64	고분자 OLED	3" full color PM-OLED 160×RGB×160	의류 부착형 Fleible PM-OLED
E-Paper				
제작사	Philips Res. Lab. (네덜란드)	Bridgestone Co. (일본)	Philips Res. Lab. (네덜란드)	Philips Res. Lab. (네덜란드)
성능	4.7" QVGA OTFT구동 (85 dpi)	160×160 (66 dpi) 두께 : 290 μm	4.7" QVGA OTFT구동 240×320 (85 dpi)	3.1" QVGA 240×160(96 dpi) (on Steel Foil)

그림 1. Various types of flexible display systems.

그러나 종이의 경우 천연 자원의 부족 및 환경문제의 대두와 함께 정보화 시대에 필수적인 대규모 정보의 취급에는 부적절하다는 단점으로 미래 시대의 요구-대용량의 자료 저장 및 처리, 실물에 가장 근접한 영상 정보 표시, 완벽한 휴대성-를 충족시키는 주역으로는 한계가 있다. 종이의 유연함과 안락함, 아날로그적 감성과 디지털 디스플레이의 편리함과 대규모 정보처리 능력이 결합된 새로운 정보 표시 디바이스의 출현은 시대적 요구 사항이며, 따라서 '종이

를 닮은 전자 디스플레이 (paper-like electronic display)'개념의 전자종이 기술의 발전은 향후 누구나 얇은 전자종이 1장을 통하여 신문, 책, 서류 등을 무선 네트워크로 다운로드해 볼 수 있는 시대의 도래를 이끌 것이다.

본 총설에서는 가장 활발히 진행되고 있는 차세대 디스플레이 개발 분야 중 하나로서 전자종이의 국내외 연구 내용을 살펴보고, 전자종이의 핵심소재 개발의 중요성을 부각시키고자 한다.

2. 전자종이

전자종이는 일종의 반사형 디스플레이 (reflective display)로서 기존의 종이와 잉크처럼 높은 해상도, 넓은 시야각, 밝은 흰색 배경과 흑색 입자간의 높은 대조비 (contrast)에 의한 우수한 가독성 (readability)을 가지며, 전원을 차단한 후에도 화상이 유지되는 bistable한 상태로 일정한 화상의 유지에 계속적인 에너지 소모가 없어 전력손실을 최소화할 수 있다.^{1,2} 따라서 배터리 수명이 오래 유지되므로 원가 절감 및 경량화를 쉽게 적용시킬 수 있다. 또한 기존의 종이와 마찬가지로 넓은 면적에서 구현이 가능하므로 다른 어느 디스플레이보다도 대면적에 적용이 가능하다는 특징을 가지고 있다. 또한 **그림 2**에서 알 수 있듯이 전형적인 LCD의 두께는 약 2 mm 정도이지만, 전자종이는 유리기판, 백라이트 및 편광판을 사용하지 않으므로, 종이와 비슷한 두께와 무게를 구현할 수 있다. 이와 함께 전원을 꺼도 화면이 사라지지 않는다는 점에서는 TFT-LCD나 OLED를 이용한 flexible display보다 강점이 있다.

한마디로 전자종이는 종이처럼 얇은 재질과 유연성을 지니며, 자료를 다운받거나 입력, 삭제, 저장할

수 있으며 수 백만 번 지우고 쓰기를 반복할 수 있는 우수한 디스플레이 소자이다. 따라서 전자종이는 종이 인쇄물과 기존의 디스플레이 매체를 대신하는 새로운 표시소자로서 신문, 잡지, 도서 등을 대체하는 전자신문, 전자잡지, 전자책의 개념으로 응용이 기대된다. 일부 전자종이는 현재 상점의 간판이나 길거리 안내문을 알리는 광고용 디스플레이로 활용되고 있다. 일본의 소니 (Sony)와 토판인쇄 (Topan), 네덜란드의 필립스 (Philips), 그리고 미국의 e-Ink사는 전기영동 방식의 전자종이 개발 컨소시엄을 구성하고 관련 디스플레이 모듈을 개발하였으며, 2004년 4월 하순에 소니 브랜드로 일본 국내에서 상품명 “LIBRIE”의 e-Book Reader를 개발 시판하였다.

전자종이는 정전하가 충전된 반구형 트위스트볼을 이용하는 방법과, 마이크로캡슐 안에 가둔, 전기장 인가 조건에 응답하는 전하입자를 이용한 전기영동 디스플레이 방식, 그리고 콜레스테롤 액정을 이용한 디스플레이 방식 등으로 개발 연구가 진행되어오고 있으며,³⁻⁶ 이를 좀더 상세히 들여다 보면 다음과 같다.

2.1 트위스트 볼을 이용한 Gyricon 디스플레이

반구형 트위스트 볼은 Gyricon 디스플레이라고 불리며 양쪽이 강하게 대조되는 반구 형태로, 한쪽은 빛

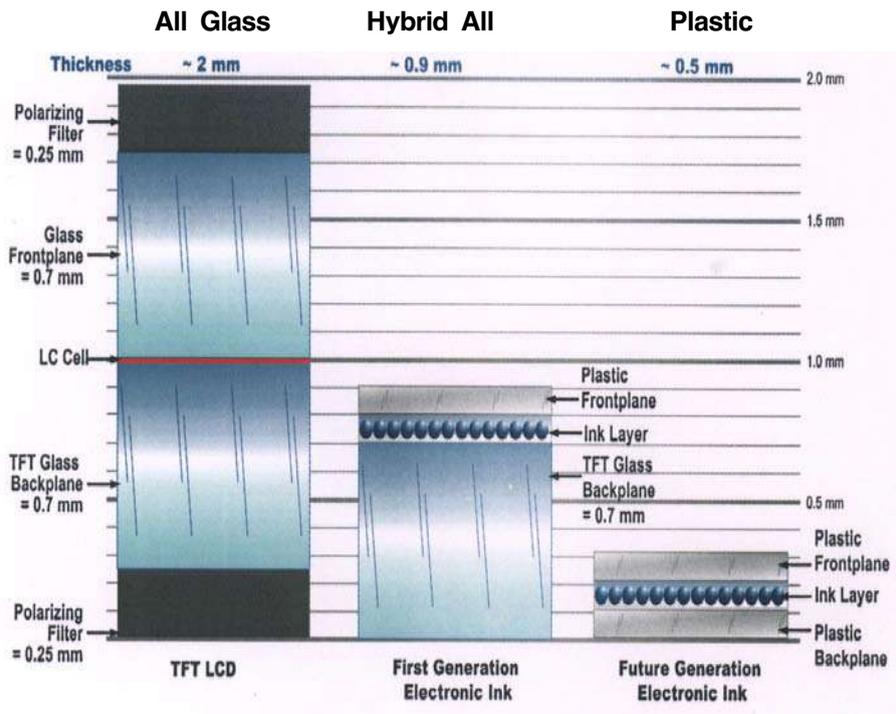


그림 2. Thickness comparison between TFT LCD and electronic paper display.

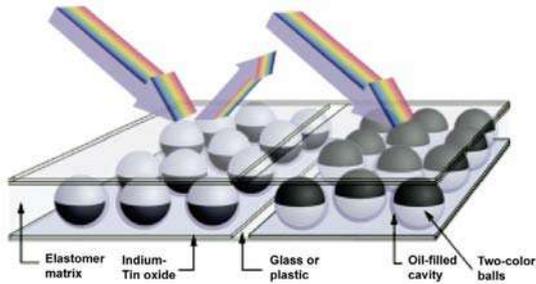


그림 3. Schematic representation of twisted bichromal ball display system by Gyricon.

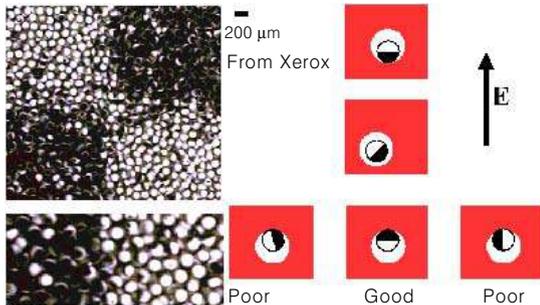


그림 4. Incomplete motion control of twisted bichromal ball due to lack of threshold electric power.

을 흡수하는 검은색이고 다른 한쪽은 빛에 매우 반사적인 흰색이다 (그림 3). Gyricon 볼은 서로 다른 면의 대조를 통하여 디스플레이를 구현하게 되는데, 각 면의 극성은 전극에 가해진 전압의 세기와 볼이 함유하고 있는 전하의 양에 의존하고 이것은 볼의 회전과 이동의 속도를 결정하는 중요한 인자이다. 그러나 Gyricon 디스플레이의 가장 큰 문제점은 볼의 위상 변화에 있어서 전압의 threshold가 없다는 것이다 (그림 4). 다시 말해서 어떤 전압도 볼의 위상을 어느 정도 바꿀 수 있다는 것이다. 이것은 실제로 해상도의 한계를 가져오고, 픽셀의 수가 증가할수록 디스플레이의 전계 조절은 매우 복잡하게 된다. 따라서 이색성 볼에서의 약한 threshold 거동에 대한 현상을 이해함으로써 해상도를 높이려고 노력하고 있으며, 현재에는 이러한 디스플레이를 컬러로 만드는 가능성에 대해서도 연구하고 있다.^{7,8}

2.2 Electrochemical Deposition을 이용한 디스플레이

고체 전해질 내에 용해된 금속 이온들의 전기화학적 증착 및 분해 반응을 이용한 디스플레이 방식으로 SONY에서 개발한 방식이다. 이 방식은 반사도 70%, 대비비 20:1의 물성이 보고되었으며, 구동 전

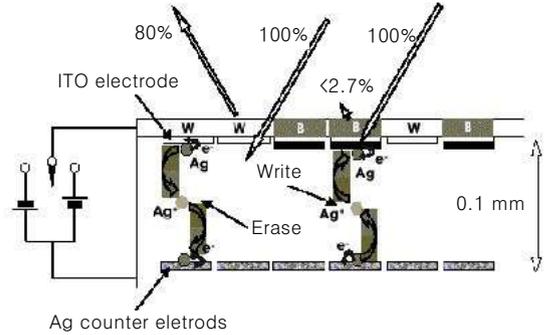


그림 5. Schematic representation of electrochemical deposition display system by SONY and its demonstration sample showing flexibility.

압은 5 V 이하로 비교적 낮은 수치를 보이는 것으로 알려져 있다. 그림 5에 나타난 것은 간단한 모식도로써, 컬러 (혹은 white)의 경우, 투명 전극 (ITO)과 Ag 전극 간에 $-1.0 \sim -1.5$ V 정도의 전압이 인가되어 Ag 이온이 전해액으로부터 전극상에 석출되고 이를 통하여 정보를 표시하게 된다. Electrochemical deposition display 방식은 여타 방식에 비하여 전기장 인가에 따른 가역적 반응의 안정성이 시간이 지남에 따라 현저히 저하된다는 점과 완전 컬러화를 구현하는 면에서 한계가 있다는 점, 그리고 곡면에서는 표시 성분의 증착 특성이 현저히 변화한다는 단점이 있다.

2.3 콜레스테롤 액정을 이용한 디스플레이

Kent Display 사의 콜레스테롤 액정 디스플레이는 1993년에 개발되어 LCD 기술에 기초하여 작동되나 LCD와 달리 빛을 서브픽셀에 통과시키기 보다는 반사시켜 서로 다른 파장을 선택적으로 반사함으로써 색을 발현한다. 전도성 전극 사이에 끼워져 있을 때 콜레스테롤 액정은 focal conic과 planar 상태의 두 안정한 상태 사이에서 스위칭될 수 있다 (그림 6). Focal conic 상태에서 helical 구조는 배열

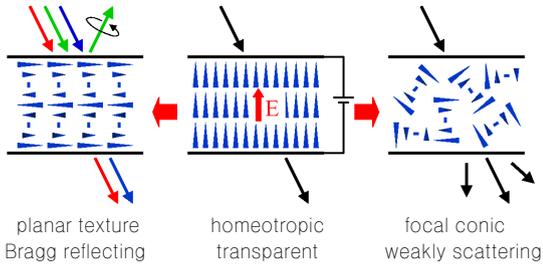


그림 6. Schematic representation of cholesteric liquid crystal display system.

되지 않거나 뒤섞여 있고, 액정은 투명하므로 빛은 그것을 통과하여 검은 기판에 흡수된다. Planar 상태에서는 helical 구조 축들이 모두 디스플레이 표면과 직각을 이루고 있다. 그러므로 helical 구조의 꼬임 정도를 조절하면, 즉 helical pitch의 길이를 조절하면 콜레스테롤 액정이 적색, 녹색, 청색과 같이 서로 다른 색깔을 반사하게 만들 수 있다. 콜레스테롤 액정은 한 색깔만 반사하고 나머지 두 색깔에 대해서는 투명하기 때문에 적색, 녹색, 청색은 각각 겹쳐지게 되어 밝은 색상을 보이거나 흰색을 반사할 수 있다. 그리고 검은색의 흡수층은 검은색을 제공한다. Planar 반사 상태의 픽셀은 10~20 V를 인가함으로써 focal conic 투명 상태로 스위칭될 수 있다. 그 후 전압을 제거해도 focal conic 상태는 무한하게 유지될 것이다. 그러나 focal conic 상태에서 다시 planar 상태로 돌아가려면 두 단계가 필요하다. 이 디스플레이는 우선 homeotropic 상태라고 알려진 매우 정렬된 상태를 거쳐야 하며 이 과정은 30~40 V를 요구한다. 만약 이 전압이 갑자기 제거되면 액정은 그 자리에서 영원히 planar 상태로 계속 남아 있을 것이다. 그러나 전압을 서서히 감소시키면 액정은 뒤섞인 focal conic 상태로 돌아갈 것이다.

종이와 같이 모든 방향에서의 가독성을 지니기 위해서 액정 구조는 약하게 파괴되는데, 다시 말해서 helical 구조의 열이 약간 비틀어져서 정렬되도록 한다. Kent 디스플레이는 매우 넓은 시야각에서 반사가 가능하도록 하는 독보적인 정렬 기술로 이 구조를 만들었다. 이 기술이 종이에 비해서 가지는 또 하나의 장점은 비디오 디스플레이가 가능하다는 것이다. 콜레스테롤 액정의 동적 반응 시간은 30~100 ms로 비디오를 보는데 필요한 스위칭 속도 (약 20 ms)에 가깝다. 비록 이 기술이 많은 전력을 소비하는 단점이 있지만 이미지를 삭제하지 않으면 적어도

1년은 디스플레이에 이미지가 지속되는 저장 능력 또한 가지고 있다.

2.4 전기영동성 전하입자를 이용한 마이크로 캡슐 디스플레이

또 하나의 디스플레이는 전계에서 콜로이드 현탁 상태의 전하 입자의 빠른 이동, 즉 전기영동에 기초한 것으로서, 전기영동 방식을 이용한 디스플레이 소자의 연구는 1971년 Xerox의 Evans 등이 보고한 reversible electrophoretic display에 관한 특허를 기원으로 하고 있다 (그림 7(a)).⁹ 그 이후 전하 입자와 전극 사이의 격리를 목적으로 한 캡슐화 및 관련 연구들이 발표된 바 있다 (그림 7(b)).^{10,11} 이러한 기초 연구는 1990년대 MIT의 Media Lab.에서 발전

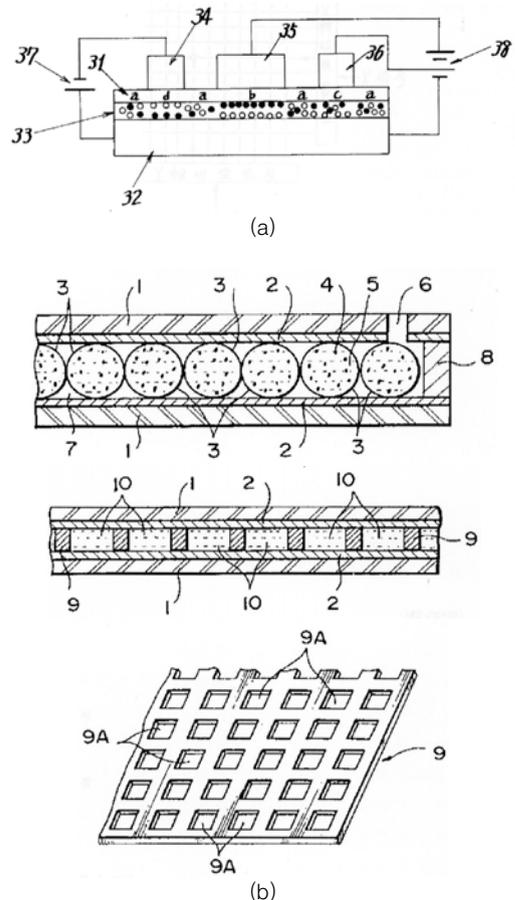


그림 7. Schematic representation of various electrophoretic display systems. (a) electrophoretic particles embedded between electrodes without capsules, (b) electrophoretic particles encapsulated or surrounded by rectangular spaces.

되어 이를 바탕으로 1997년 Jacobson의 주도하에 E-Ink사가 설립되었다. E-Ink는 전기영동 재료를 포집하고 있는 직경이 30~300 μm인 마이크로 캡슐을 제조하는 기술을 처음으로 개척하였다 (그림 8). 이 디스플레이는 그 기술에 캡슐화된 전기영동 잉크라는 독창적인 개념을 포함하고 있다.

반사형 디스플레이인 전기영동 방식의 E-Ink 전자종이는 직경이 최소 30 μm까지 작게 만들 수 있고 매우 가까이 밀착시켜 패키징할 수 있으므로 볼의 크기와 공동의 공간에 의해 해상도가 제한받는 Gyricon 디스플레이보다 훨씬 우수한 해상도를 얻을 수 있다. 또한 E-Ink 전자종이는 종이와 같은 외관을 가지고, 광반사 효율이 40% 이상으로 신문과 비슷하거나 오히려 약간 높은 수치를 나타낸다. 유사 디스플레이 매체와 비교한 경우 표 1에서 알 수 있듯이 반사율이 높고, 대비비는 종이보다도 오히려 높으며, 시야각 또한 넓어서 가독성이 매우 우수하며, 눈의 피로도가 여타 디스플레이 매체에 비하여 작은 편이다. 에너지 소모의 경우 E-Ink 전자종이는 다른 반사형 전자종이처럼 백라이트를 사용하지 않으며 표시내용을 바꿀 때에만 전원이 필요하므로 전력 소모량이 타 평판 디스플레이보다 수백~수천

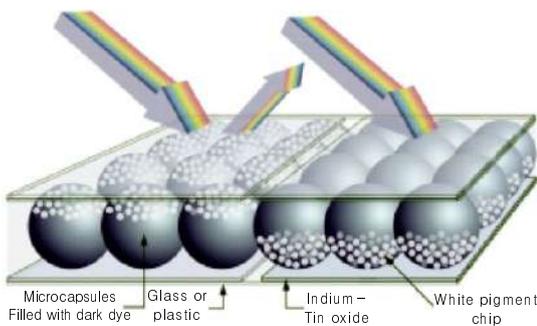


그림 8. Schematic representation of microencapsulated electrophoretic display system by E-Ink.

표 1. Characteristics of Various Reflective Display Systems

Display Technology	White State Reflectance	Contrast Ratio
Transflective Mono STN LCD (common PDA with thochscreen)	4.2 %	4.1
Transflective Mono STN LCD (common PDA with thochscreen)	4.0 %	4.6
Paper (wall stree journal)	61.3 %	5.3
E-Paper (Eink corp., USA.)	26.6 %	9.2

배 낮게 유지할 수 있다 (그림 9). 인가된 전압의 세기를 이용하여 입자의 이동을 조절함으로써 회색 스케일의 구현이 또한 가능하며, 대조비는 약 10 : 1 이상이다.¹² E-Ink 전자종이는 천만 번의 스위칭 사이클에도 디스플레이 기능의 저하가 없는 우수한 디스플레이 신뢰도와 안정성을 보여주었다.

그러나 Gyricon 디스플레이와 마찬가지로 E-Ink 전자종이도 수동형 구동 원리에 기초하면 threshold가 없어서 그 해상도에 한계를 나타내고 있다. 그러므로 직접 구동은 낮은 정보 콘텐츠용 응용장치에는 효율적이지만 고해상도 이미지를 위해서는 능동형 매트릭스가 사용되어야 한다. 또한 E-Ink 전자종이의 경우 구동전압은 약 90 V로 높은 편이며, 풀 컬러의 구현이 힘들고, 동작속도가 느려 동영상 구현하는 데는 한계가 있다는 단점이 있다. 지금까지 알려진 바로는 전기영동 입자가 캡슐의 한 쪽 면에서 다른 쪽 면으로 이동하는데 걸리는 시간은 100 ms 대이며, 이것은 비디오 매체로의 응용에는 너무나 느린 편이다.

현재 마이크로 캡슐 전기영동 입자 시스템은 값싼 디스플레이 기술과 완전 칼라 디스플레이를 위해서 꾸준히 연구·개발되고 있다. 흰색 입자와 어두운 색의 염료로 이루어진 캡슐의 전기영동 디스플레이는 종이에 쓰여진 잉크와 매우 흡사하게 보이는 매력을 가지고 있다. 비록 지금까지는 콜로이드적 불안정성 - 시간이 지남에 따라 현탁된 내부 입자들이 서로 엉기는 경향- 이 소자의 수명을 짧게 하고 그 상용화를 막아왔지만, 최근에는 이러한 문제를 해결하는 방법을 마이크로 캡슐법에서 찾았다. 반사형 마이크로 입자와 그 분산매인 유전유체의 비중을 거의 비슷하게 맞춤으로써 입자들이 균일하게 분산되어 혼합물을 만들고, 이를 투명하게 코팅함으로써 안정한

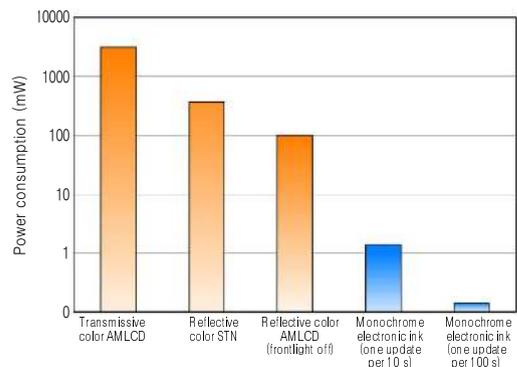


그림 9. Power consumption of various display systems.

캡슐을 제조할 수 있다.^{13,14} 이 방법은 단일 입자계나 이중 입자계 모두에 적용될 수 있다.

현재 국내 연구진들에 의해서도 전자종이 표시부의 핵심 소재인 마이크로 캡슐과 전기영동 입자에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 기존의 예상된 단점을 극복하기 위하여 분산유체의 선정 및 단일 극성의 도입 및 마이크로 캡슐의 유연성과 투명성이 이슈화되고 있다. 이후에서는 전기영동 방식 전자종이 구현을 위한 전하 입자와 마이크로 캡슐에 대해서 살펴보고자 한다.

2.4.1 전기영동 입자와 분산유체의 특징

전기영동 입자는 분산유체에 안정하게 분산되고, 단일의 극성을 가지는 동시에 그 입경 분포가 작은 것이 표시 장치의 수명, 대조비, 해상도 등의 관점에서 필수적이다. 또한 그 입경은 0.1~5 μm 가 적당하며 이 범위 내에서 광산란 효율이 저하되지 않고, 전압 인가 시에 충분한 응답속도를 얻을 수 있다. 전기영동 입자의 재료는 산화티탄, 산화아연, 산화지르코늄, 산화철, 산화알루미늄, 카본블랙, 황산바륨, 크롬산염 등의 무기안료 또는 프탈로시아닌 블루, 프탈로시아닌 그린 등의 유기안료가 사용된다. 또한 전기영동을 분산시키는 유체로서는 전기영동 입자에 대한 용해능이 거의 없고 전기영동 입자를 안정하게 분산시킬 수 있으며, 이온을 포함하지 않는 절연성 비극성 유체를 사용한다. 또한 전기영동 입자의 뭉침을 방지하기 위해서 입자와의 비중을 맞추고, 전압 인가 시에 있어서 전기영동 입자의 이동도를 저하시키지 않기 위하여 낮은 점도를 가져야 한다. 현재까지 halocarbon, hydrocarbon, silicon oil 및 mixtures 등이 연구되고 있다. 입자의 표면전하는 저유전 유체 하에서 전기영동 방식의 광산란법 혹은 전기음향법을 이용하여 제타 전위와 그 입자의 이동도를 측정하여 다음 식을 통하여 표면전하의 세기를 알 수 있다. 레이저 토너의 경우가 약 50 mV, TiO_2 계 전기영동입자가 약 120 mV 등의 제타전위를 갖는다고 알려져 있다. 1998년 미국 MIT에서는 백색 반사율이 우수한 TiO_2 (refractive index, $n=2.7$)를 사용하여, 분산안정성을 증가시키는 방법으로 밀도가 4.2 g/mL인 TiO_2 와 0.93 g/mL인 저분자량의 폴리에틸렌 (PE)에 대해 atomization법을 이용하여 평균입자 크기가 5 μm 인 유·무기복합 입자를 얻었으며, 좀 더 작은 입자 (약 1 μm)를 얻기 위하여 합성법을 이용하였다. 이들이 얻은 입자들은 평균밀도가 약 1.5 g/mL이며, 입자의 분산안정성을 증가시키고 표면에 전하를 띠게

하기 위하여 계면활성제를 이용하였다. 이들 입자는 전기이동도 (μ)가 $1.69 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 제타 전위는 120 mV이고 단위 입자당 표면 전하량이 $2.6 \times 10^{-18} \text{ C}$ ($16e^{-1}$)으로 높은 이동도와 낮은 단위 입자당 전하량으로 표시매체의 응답속도를 향상시키고 bistable한 특성을 얻을 수 있다고 발표하였다.¹⁵ 그러나 이들이 개발한 전기영동 디스플레이는 대조비, 전기이동도, 표시 메모리성 등 여러 가지 특성들을 만족하였으나, 표시매개체인 입자의 크기가 수 μm 이고 그 분포도 또한 넓어 해상도가 낮은 단점이 있었다. 따라서 단일의 극성을 가지는 동시에 그 입경 분포가 작은 영동 입자의 연구가 필수적이다.¹⁶⁻¹⁸

전기영동 입자의 높은 이동도를 보유하기 위하여 표면 전하제 혹은 입자안정제들을 입자표면에 부여하는 기술이 필요하고, 또한 표면전하를 높게 할 수 있는 저분자량 및 고분자량 표면전하 조절제가 개발되어 있다. 전하조절제는 입자의 표면전하를 개선 혹은 안정화시키는 것으로, 액체토너, 전기영동 디스플레이, 페인트 분산 등에 응용되고 있다. 표면개질제로는 실란계의 커플링제, 유기 titanate, 지방족 아민, 지방족 산, 혹은 그들의 염 등이 입자의 분산안정도를 증가시키는 것으로 알려져 있다. 전하는 입자표면과 표면과 접하는 연속상의 산-염기 반응으로 기인하기 때문에, 매우 여러 가지인 organic sulfate, sulfonate, phosphate, phosphonate, 혹은 유기 금속 complex 등이 알려져 있다. 고분자 표면전하제로는 대표적으로 polyisobutyl succinimide (OLOA1200), poly(*N*-vinyl pyrrolidone), poly(12-hydroxystearic acid), 그리고 분산안정제로는 glycol ether, sorbitol계의 비수용성 계면활성제도 이용할 수 있다.¹⁹⁻²³ 기존의 복합입자의 분산성을 높이고 높은 이동도를 부여하기 위하여 계면활성제 혹은 전하조절제를 흡착시키는 방법은, 첨가된 계면활성제의 부유물들이 전극 표면에 흡착되어 전극의 역할을 저해하거나 분산유체에 용해되어 유체의 점도 및 유전율의 변화를 초래할 수 있는 문제점들이 있다. 따라서 전하조절제를 사용하지 않고 입자표면 자체의 표면전하로 입자가 안정하기 위하여 높은 전위를 갖는 보조단량체를 사용하여 다양한 *in-situ* 중합법에 의해 TiO_2 를 코팅하여 사용된 보조단량체의 특성에 따라 표면 제타전위, 입자의 밀도 및 크기를 조절하여 전기영동 입자 시스템에 적용할 수 있다.²⁴⁻³⁰

2.4.2 마이크로 캡슐 기술

마이크로 캡슐은 미소한 용기를 의미하는 단어로

마이크로 캡슐화는 마이크로 캡슐을 만드는 조작과정을 일컫는다. 마이크로 캡슐에 있어서, 우선 코어 (심(芯) 혹은 핵(核)에 해당) 물질 (액체 내지는 고체)을 미립화하고 이를 막으로 코팅한다. 코어 미립자를 막으로 피복하는 방법의 원리와 기술은 다종 다양하며 그 대부분은 특허로 보호되고 있다. 그러나 현재의 마이크로 캡슐화 기술의 단점을 극복하는 새로운 기술이 기존의 원리 및 새로운 원리에 의거하여 개발될 가능성이 크다.

마이크로 캡슐화 및 이의 제약 분야 응용에서의 가능성에 대한 최초의 보고는 1931년 Bundeburg de Jong과 Kaas에 의하여 이루어졌다. 1931년에서 1940년 사이 Green과 그의 NCR (National Cash Register)팀은 젤라틴 벽재의 사용을 바탕으로 하는 마이크로 캡슐화에 대한 특허를 발표하였고, 1950년대 초에 no carbon 복사지가 발매된 이후부터 고분자를 기재 (基材)로 하는 고기능재료로서 마이크로 캡슐이 주목을 받게 되었다.³¹ 그 후 1967년 캐나다 McGill대의 T. S. M. Chang이 나일론 막 캡슐 속에 헤모글로빈, 효소 등을 포함시켜 인공세포를 합성하여 인공장기 실용화에의 길을 연 이래 오늘

날에는 각종 기록재료, 표시재료, 접착제, 화장품, 의약품, 농약, 식품, 향료, 인공장기, 전자재료 모든 분야에서 이용되며 우리들의 일상 생활에 깊이 정착되고 있다.³²⁻³⁴ 마이크로 캡슐은 고분자 피막 (벽재)으로 된 미소한 용기로 의약품, 향료, 화학적 활성 물질 (심물질) 등을 내부에 포함시킨다. 심물질의 용도에 따라 기체, 액체(용액), 고체, 슬러리 등의 여러 가지 형태를 취할 수 있으며 이는 마이크로 캡슐의 다양성과 관련된다. **표 2**에 마이크로 캡슐의 기능을 정리하였다.

마이크로 캡슐의 제조법은 **표 3**과 같이 화학적 방법, 물리화학적 방법 및 기계적 물리적 방법으로 크게 나눌 수 있다. 이들 방법의 차이는 심물질의 피복화 기구의 차이에 있는데 심물질의 캡슐화의 개념이 서로 조금씩 다르다. 화학적 및 물리화학적 방법은 심물질의 표면 위에 모노머 또는 폴리머로부터 새로운 폴리머의 상 (相)을 만들어 심물질을 캡슐화하는 방법인데 반하여 물리적 기계적 방법은 기존의 고분자를 사용하여 물건을 포장하듯이 심물질을 포장하는 방법이라 할 수 있다.³¹

전기영동 디스플레이 시스템을 위한 마이크로 캡슐

표 2. Function of Microcapsule

기능	고분자 피막의 특성인자	실용 예
주위 환경으로부터의 보호	우수한 조막성, 내충격성, 물리적 강도, 내열성, 내약품성	No carbon 복사지, 맛, 냄새의 차단 심물질의 열화를 방지 (액정) 폐기물 처리
환경과의 제어된 물질 교환	다공질 (세공경의 제어), 자극에 대한 감응성, 생리활성	DDS, 서방성 농약, 선박용 페인트 효소, 세포를 포함한 인공장기
심물질의 상태변화	물질 차단성, 내약품성	맹인용 복사기 토너 (기체대입) 볼트-너트형 접착제 (액상접착제)

표 3. Various Microencapsulation System

기법	실례
화학적 기법	<ul style="list-style-type: none"> 계면중합법 (계면중합반응법) <i>in situ</i> 중합법 (표면개질법, 계면반응법) 액중경화 피복법 (orifice법, 유체노즐법, 원심노즐법)
물리화학적 기법	<ul style="list-style-type: none"> 수용액계로부터의 상분리법 유기용매로부터의 상분리법 (온도변화법, 비용매 첨가법, 상분리 유기용의 액체폴리머 이용법, 계면농축법, 계면침적 또는 계면농축법, 계면석출법) 액중건조법 (계면침전법, 계면경화반응법, 계면석출법, 이차에멀전법, 액중스프레이 드라이법) 용해분산냉각법 (분무응고조립법, 응고조립법) 내포물교환법 (액중교환처리법) 분상법 (액적법, 겔적법, 에멀전법, 계면반응법, 건식혼합법)
기계적 혹은 물리적 색채가 농후한 기법	<ul style="list-style-type: none"> 저온캡슐화법 · 기중현탁피복법 무기질금속질벽유기질벽 캡슐화법 (마쇄마모현상의 이용기법, 마찰대전이용법, 콜로이드이용법, 침전반응이용법, 열경화이용법, 충격압축전단현상 이용법) 진공중착 피복법 (기상석출법) · 스프레이 드라이법 (분무조립법) · 고속기류중 충격법

은 100 μm 이하의 크기에 단분산성을 가지며, 투명하고 외부의 압력을 견딜 수 있는 충분한 기계적 강도를 지녀야 한다. 또한 내부에 전하를 띤 무기입자를 함유하고 캡슐 내 물질의 용출 현상 등을 막기 위하여 물질 차단성이 우수해야 한다. 마지막으로 캡슐 내 유기용매와 전하입자와의 상용성이 전혀 없어야 하는 등의 조건을 만족해야 한다. 마이크로 캡슐 제조방법으로는 아크릴 계열 등의 투명성이 우수한 열가소성 고분자의 직접 중합에 의한 마이크로 캡슐 제조법, PVA와 같이 고분자 가교 반응에 의한 마이크로 캡슐 제조법, oil-in-water emulsion을 이용한 마이크로 캡슐 제조법, 계 상에서의 열경화성 고분자의 계면 경화를 이용한 마이크로 캡슐 제조 방법 등 매우 다양한 방법이 보고된 바 있으나, 실제로 전기영동성 전하입자의 거동을 보장하며 상기한 여러 조건을 만족시키기 위해서는 매우 제한적인 방법만이 가능한 것으로 알려져 있다. 가장 대표적인 방법으로 melamine-formaldehyde 또는 urea-formaldehyde를 바탕으로 한 열경화성 수지의 계면 중합법이 보고된 바 있다. 그러나 앞서의 어떠한 방법을 통하여 캡슐을 형성시키고자 하더라도 필수적으로 고려해야 할 사항은 캡슐 자체가 지녀야 할 물성과 함께 심물질로 적용될 입자 및 유전용매의 특성이 동시에 고려되어야 한다는 점이다. 결국 전체의 시스템을 구성하는 각 부분의 선정은 동시에 이루어져야 하며 이 경우 가장 중요한 고려 사항은 성분 간의 상용성 및 각각의 안정성 그리고 각 성분 고유의 물성 유지가 될 것이다.

3. 결론

2011년 전자종이의 세계시장은 약 200억 달러에 달할 것으로 예측되고 있다. 마이크로소프트사의 기술개발 담당 부사장인 Dick Brass는 “인쇄매체에 의한 New York Times지는 2018년 경에 사라질 것”이라고 예측하는 등 전자종이의 경제·산업적 잠재력은 현재 예측을 불허하고 있다. 이러한 관점에서 최신 디지털 기술 (평판 디스플레이)에 아날로그적 감성 (종이)을 접목한 전자종이는 신 디스플레이 산업의 가장 유망한 분야로 판단된다. 전자종이, 전자책이 상용화되고 저렴한 가격에 시판된다면, 전체 종이 소비량의 50%에 육박하는 신문, 출판 인쇄물을 상당부분 대체하는 것이 가능할 것이며, 가까운 미래에는

우선 흑백인쇄물의 대체에 치중할 수 밖에 없으나, 향후 컬러화가 진행되면 전체적으로도 모든 인쇄종이를 대체하는 것이 가능할 것으로 예상된다.

우리나라는 생산기술의 지속적인 발전을 통하여 현재 세계의 주요 디스플레이 생산국이 되었으며 TFT-LCD 및 PDP 분야에서는 세계적인 경쟁력을 가지고 있으나, 원천기술 및 기초소재의 50% 이상을 수입에 의존하고 있으므로 21세기에 디스플레이 분야의 선도국가로 존속하기 위해서는 새로운 소재 및 제품의 원천기술 개발을 통한 신 디스플레이 산업의 창출이 필수불가결하다. 전자종이로 대표되는 flexible display 분야의 경우 외국의 선발 연구도 아직은 본격적 상업 생산에는 이르지 못한 단계이며 입자 및 캡슐 제조 분야에서는 국내 기술력도 거의 선진국 수준에 이르고 있으므로, 국내에 축적된 고급 기술들의 결합은 전자종이 연구에 최적의 조건을 제시할 수 있을 것으로 생각된다. 이에 산학연이 결합된 적극적인 연구 및 투자가 강력히 요구되는 바이며 이는 향후 전자종이 시장에서의 주도권 다툼에서도 좋은 결실을 맺을 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. M. W. Miles, *SID Tech. Dig.*, 32-35 (2000).
2. M. Miles, E. Larson, C. Chai, M. Kothari, B. Gally, and J. Batey, *SID Tech. Dig.*, 115-117 (2002).
3. G. P. Crawford, *IEEE Spectrum*, **40** (2000).
4. N. K. Sheridan, *J. Soc. Inform. Displ.*, **7**, 141 (1999).
5. D. Davis, *J. Soc. Inform. Displ.*, **7**, 43 (1999).
6. S. I. Park, N. H. Park, and K. D. Suh, *Liq. Cryst.*, **29**, 783 (2002).
7. T. Pham, N. Sheridan, and R. Sprague, *SID Tech. Dig.*, 119-121 (2002).
8. B. Preas and H. Davis, *SID Tech. Dig.*, 228-231 (2002).
9. P. F. Evans, “Color display device”, U.S. Pat. 3,612,758 (1971).
10. I. Ota, J. Ohnishi, and M. Yoshiyama, *Proc. IEEE*, **61**, 832 (1973).
11. 日本公開特許 64-86116 (1989).
12. B. Fitzhenry, *Appl. Opt.*, **18**, 19 (1979).
13. J. M. Jacobson, P. S. Drazaic, and I. D. Morrison, US Pat. 6,323,989 B1 (2001).
14. J. D. Albert, B. Comiskey, J. M. Jacobson, L.

- Hang, A. Loxley, R. Feeney, P. S. Drazaic, and I. D. Morrison, US Pat. 6,017,584 (2000).
15. B. Cominsky, J. D. Albert, H. Yoshizawa, and J. Jacobson, *Nature*, **394**, 253 (1998).
 16. R. B. Liebert, US Pat. 4,071,430 (1978).
 17. A. L. Dalisa, *IEEE Trans. Elec. Devic.*, **ED-28**, 7 (1997).
 18. B. F. Ritz, *IEEE Trans. Elec. Devic.*, **ED-28**, 6 (1981).
 19. S. Inoue, H. Kawai, S. Kanbe, T. Saeki, and T. Shimoda, *IEEE Trans. Elec. Devic.*, **49**, 8 (2002).
 20. P. Murau and B. Singer, *JAppl. Phys.*, **49**, 9 (1978).
 21. P. Drzaic, B. Comiskey, J. D. Albert, L. Zhang, A. Loxley, R. Feeney, and J. Jacobson, *SID Tech. Dig.*, 1131–1134 (1998).
 22. S. A. Swanson, M. W. Hart, and J. G. Gordon, *SID Tech. Dig.*, 29–31 (2000).
 23. R. M. Webber, *SID Tech. Dig.*, 126–129 (2002).
 24. K. Landfester, N. Bechthold, F. Tiarks, and M. Antonietti, *Macromol.*, **32**, 2679 (1999).
 25. K. Landfester, N. Bechthold, F. Tiarks, and M. Antonietti, *Macromol.*, **32**, 5222 (1999).
 26. P. J. Blythe, B. R. Morrison, K. A. Mathauer, E. D. Sudol, and M. S. El-Aasser, *Macromol.*, **32**, 6944 (1999).
 27. P. J. Blythe, A. Klein, E. D. Sudol, and M. S. El-Aasser, *Macromol.*, **32**, 6952 (1999).
 28. P. J. Blythe, A. Klein, E. D. Sudol, and M. S. El-Aasser, *Macromol.*, **32**, 4225 (1999).
 29. P. J. Blythe, B. R. Morrison, K. A. Mathauer, E. D. Sudol, and M. S. El-Aasser, *Langm.*, **16**, 898 (2004).
 30. M. Barrere, F. Ganachaud, D. Bendejacq, M.-A. Dourges, C. Maitre, and P. Hemery, *Polym.*, **42**, 7236 (2001).
 31. B. K Green, *Microencapsulation, New Technique and Applications*, T. Kondo Editor, TECHN Books (1979).
 32. 近藤保, *マイクロカプセル—その製法 性質 応用—*, 三共出版 (1977).
 33. 近藤保, *化學 One Point 13, 마이크로カプセル*, 共立出版 (1985).
 34. 近藤保 監修, *最新マイクロカプセル化技術*, 総合技術center (1987).